บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยงข้อง

การประหยัดพลังงานในระบบอากาศอัด

อากาศอัดคือ อากาศที่ถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อนำมาใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนระบบต่างๆ เนื่องจากอากาศอัดมีความคล่องตัว ปรับเปลี่ยนสถานะได้ และมีความปลอดภัยในการใช้งาน จึงมีความเหมาะสมที่จะเป็นตัวกลางในการนำพลังงานไปใช้งาน อากาศอัดมีการใช้งานตั้งแต่ความดัน 2 บาร์ ถึง 70 บาร์

มีการประมาณค่าใช้จ่ายรวมตลอด 10 ปีในการผลิตอากาศอัด ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 75% ค่าเงินลงทุนเครื่องจักร 15% และค่าบำรุงรักษา 10% จากข้อมูลของกรมการพลังงานสหรัฐอเมริกา (DOE,2003) [1] ได้รายงานไว้ว่า 70 – 90% ของพลังงานในการผลิตอากาศอัด จะสูญเสียไปในรูปพลังงานความร้อนที่ใช้ไม่ได้, แรงเสียดทาน, การใช้งานที่ไม่ถูกต้อง และเสียง เป็นการดีที่จะคิดไว้เสมอว่า ระบบอากาศอัดจะมีค่าใช้จ่ายในการใช้งานมากกว่าค่าเครื่องอัดอากาศมาก ฉะนั้นถ้าจะมีการเลือกซื้อเครื่องอัดอากาศควรคำนึงถึงประสิทธิภาพทางพลังงานมากกว่าการพิจารณาจากราคาเครื่องเพียงอย่างเดียว การประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงระบบจะมีปริมาณถึง 20 – 50% ของปริมาณการใช้ไฟฟ้า เมื่อทำการคิดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบอากาศอัดมีค่าเป็น 10% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศให้มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่มีความคุ้มค่ามาก

การลดการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศสามารถทำได้ทั้งแบบไม่มีการลงทุน, ขั้นลงทุนเล็กน้อย และขั้นลงทุนสูงคือปรับปรุงระบบและเลือกใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง การประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน [2] คือ

1.ส่วนการสร้างอากาศอัด

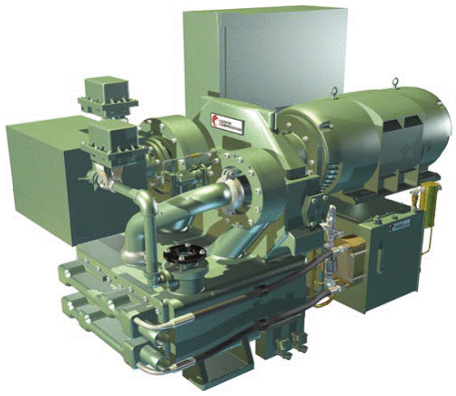
2.ส่วนการส่งจ่ายอากาศอัด

3.ส่วนการใช้อากาศอัด

2.1 การปรับปรุงระบบอัดอากาศในส่วนการสร้างอากาศอัด

2.1.1 การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน เครื่องอัดอากาศสามารถแบ่งตามหลักการอัดอากาศเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1.1 เครื่องอัดอากาศที่ใช้ลักษณะการแทนที่ของอากาศ (Dynamic) คือการให้พลังงานกลแก่อากาศทำให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้นโดยผ่านโรเตอร์ แล้วอาศัยรูปร่างของโครงสร้าง(casing) ภายในเครื่องอัดลดความเร็วของอากาศลง ทำให้พลังงานของอากาศในรูปพลังงานจลน์เปลี่ยนเป็นความดันอากาศแล้วไหลออกทางด้านจ่าย ซึ่งมีแบบ Centrifugal, Ejector, Radial, Axial พบมากในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Centrifugal Compressor[3]



รูปที่ 2.1 แสดงภาพเครื่องอัดอากาศแบบ Centrifugal Compressor[4]

ข้อดี

- สามารถผลิตอากาศอัดได้มาก คือ 1 แรงม้า สามารถผลิตอากาศอัดได้ 4.4 CFM
- ผลิตอากาศอัดได้มากสามารถจ่ายอากาศอัดได้ทั้งโรงงาน (มีขนาด 400HP – 1,500HP)
- สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง

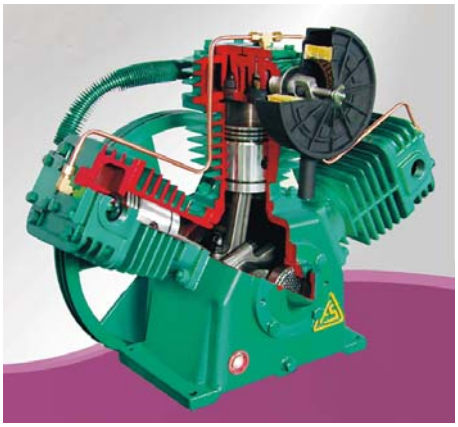
ข้อเสีย

- เมื่อเครื่องเสียจะทำให้ไม่มีอากาศอัดใช้ทั้งโรงงาน

- เนื่องจากเครื่องอัดอากาศมีขนาดใหญ่ ทำให้กินกระแสไฟฟ้ามากไม่เหมาะสำหรับโรงงานที่ใช้อากาศอัดน้อยและมีการใช้อากาศอัดที่ไม่สม่ำเสมอ (ไม่ควรให้เครื่องมีสภาวะ unload เนื่องจากมอเตอร์กินกระแสไฟฟ้าสูง)

2.1.1.2 เครื่องอัดอากาศที่อัดอากาศเชิงปริมาตร (Displacement) คือการดูดอากาศเข้าไปในปริมาตรของห้องอัด แล้วลดปริมาตรอากาศโดยใช้พลังงานจากภายนอก เช่น เครื่องยนต์, มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น เมื่ออากาศถูกลดปริมาตรลงทำให้มีความดันสูงขึ้น แล้วปล่อยออกทางด้านจ่ายเป็นอากาศอัดที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นแบบโรตารี(Rotary) และแบบลูกสูบ(Reciprocating หรือ Piston compressor)

เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ



รูปที่ 2.2 แสดงหัวอัดอากาศแบบลูกสูบ[5]

ข้อดี

- ผลิตแรงดันอากาศได้สูง 0 – 20 bar

- ราคาถูก

ข้อเสีย

- ผลิตอากาศอัดได้น้อย คือ 1 แรงม้า สามารถผลิตอากาศอัดได้ประมาณ 3.4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

- เสียงดังมากขณะทำงาน

- การสึกหรอมากเพราะมีส่วนที่เคลื่อนที่มากชิ้น

- อากาศอัดที่ได้มีอุณหภูมิสูงจึงเป็นเหตุให้เกิดน้ำในระบบมากกว่าระบบอื่น

- ไม่สามารถเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมงได้

เครื่องอัดอากาศชนิดโรตารี เครื่องอัดอากาศชนิดนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- แบบโรตารีแวน

รูปที่ 2.3 แสดงเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีแวน[6]

- แบบโรตารี่สกรู

รูปที่ 2.4 แสดงรูปหัวอัดอากาศแบบสกรู[7]

ข้อดี

- สามารถผลิตอากาศได้มาก คือ 1 แรงม้า สามารถผลิตอากาศอัดได้ประมาณ 4.4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

- อากาศอัดที่ได้มีอุณหภูมิต่ำกว่าชนิดลูกสูบ

- เสียงเครื่องเงียบ และสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง

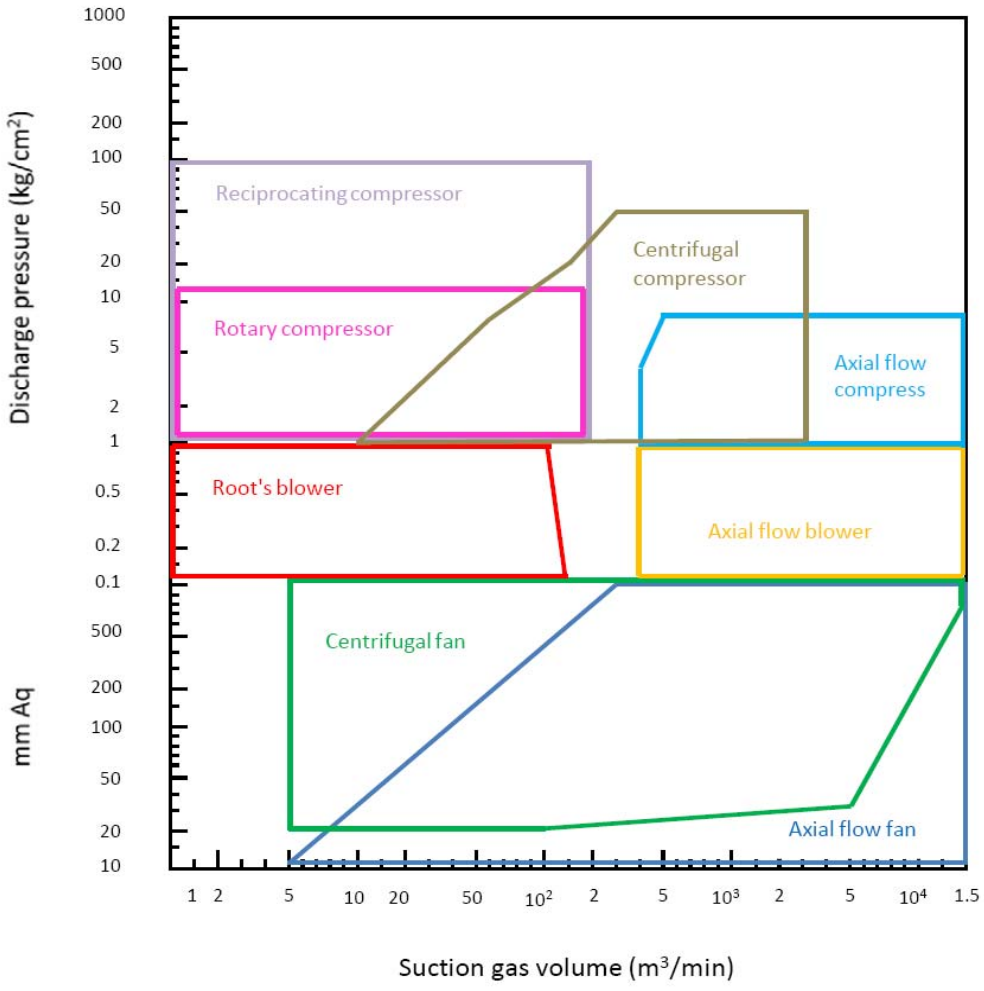
- มีคุณภาพของอากาศอัดสูง คือมีปริมาณน้ำมันหลุดออกไปน้อย

ข้อเสีย

- ผลิตความดันอากาศได้ 0 – 13 bar

- ราคาสูง

การเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดอากาศที่เหมาะสม สิ่งที่จะต้องพิจารณาคือ ปริมาณความต้องการอากาศอัดและความดันใช้งานของอุปกรณ์ในโรงงาน เมื่อทราบค่าทั้งหมดแล้ว จึงพิจารณาเลือกประเภทของเครื่องอัดอากาศโดยใช้กราฟ[8] ดังรูปที่ 5



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงย่านแรงดันต่างๆของเครื่องอัดอากาศ,พัดลม และปั๊มสุญญากาศ[8]

จากรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศอัดและปริมาณอากาศอัดที่คอมเพรสเซอร์ชนิดต่างๆผลิตได้ โดยสามารถเลือกช่วงของแรงดันและปริมาณอากาศอัดที่ต้องการ กราฟนี้เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการหาขนาดและชนิดของเครื่องอัดอากาศ โบล์เวอร์ และพัดลม และยังสามารถเลือกได้อีกว่าจะใช้โบล์เวอร์แทนการใช้อากาศอัดหรือใช้เพียงพัดลมก็เพียงพอ สำหรับงานบางอย่าง เช่นงานที่ต้องการความดันไม่ถึง 1 bar สามารถใช้โบล์เวอร์แทน และในงานที่อากาศอัดไม่ถึง 0.1 bar ก็สามารถใช้พัดลมแทนได้เป็นต้น

2.1.2 การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง หรือตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศให้สูงกว่า 80% เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศที่มีอยู่ว่าประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (อากาศอัดที่ได้เทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้) สูงกว่า 80 % เมื่อวัดเทียบกับค่าที่ระบุของเครื่องนั้น หรือเกณฑ์อ้างอิงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอัดอากาศ[9]

ประเภทของเครื่องอัดอากาศ	ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (l/s/kW)
ลูกสูบ	2.30 – 2.65 (single state) 2.85 – 3.35 (double state)
สกรู	2.35 – 2.85
เวน	2.22 – 2.5
หมุนเหวี่ยง	2.85 – 3.33

หมายเหตุ : การทดสอบดำเนินการที่ความดัน 7 bar และต้องทดสอบในช่วงที่เครื่องร้อนเท่ากับเวลาใช้งาน

ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (Efficiency of the Air compressor)

การคำนวณปริมาณอากาศอัด(Air produced formula: AP)

$$AP = \frac{V \times (Poff - Pon)}{t \times P_a} \ l/s \qquad (2.1)$$

เมื่อ

V = ปริมาตรถังอัดอากาศ (liter)

P_{off} = ความดันอากาศอัดตอนตัดเป็น unload (bar)

P_{on} = ความดันอากาศอัดตอนเริ่มต่อ load (bar)

P_a = ความดันบรรยากาศ (1.013 bar)

t = เวลาที่ใช้ในช่วงระหว่าง P_{off} และ P_{on}

การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้

$$P_w = \frac{\sqrt{3} .I.V.COS\O}{1000} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

P_w = กำลังไฟฟ้า (kW)

I = กระแสไฟฟ้า (Amp.)

V = ความต่างศักดิ์ไฟฟ้า (volt)

COSØ = Power factor

การคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ (l/s/kW)

ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ = AP/ P (2.3)

เมื่อ

AP = ปริมาณอากาศอัด (l/s)

P = กำลังไฟฟ้า (kW)

เมื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศได้ก็สามารถทำการตรวจสอบค่าจากตารางที่ 2.1 ถ้าค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแสดงว่าเครื่องอัดอากาศที่ใช้อยู่ยังคงใช้ได้ดี แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดก็สมควรเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศใหม่

2.1.3 การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ

สำหรับการตรวจสอบสภาพของเครื่องอัดอากาศอยู่เป็นประจำ จะช่วยทำให้เกิดการประหยัดพลังงานและเป็นการยืดอายุเครื่องอัดอากาศด้วย สำหรับจุดที่ต้องหมั่นตรวจสอบเป็นพิเศษเพราะมีผลต่อการประหยัดพลังงานโดยตรงได้แก่

- การตรวจสอบระบบส่งกำลัง คือตรวจสอบชุดสายพานและพูเล่ย์ให้อยู่ในสภาพที่ดี การตรวจสอบความตึงของสายพานให้ตรวจสอบจากคู่มือการบำรุงรักษาของเครื่องอัดอากาศ

- ชุดแยกน้ำมันออกจากอากาศอัดภายในเครื่องอัดอากาศแบบสกรู ควรทำการตรวจสอบอยู่เสมอว่ามีความดันตกคร่อมต้องไม่เกิน 1 bar ถ้าเกินกว่านี้ควรทำการเปลี่ยนชุดแยกน้ำมันออกจากอากาศอัดใหม่

- การตรวจสอบระบบระบายความร้อน คือแผงระบายความร้อนของอากาศและน้ำมันเครื่องให้อยู่ในสภาพที่สะอาดสามารถระบายความร้อนได้ดี การตรวจสอบสามารถดูได้จากอุณหภูมิของไหลก่อนเข้าแผงระบายความร้อนและหลังจากระบายความร้อนเปรียบเทียบกัน โดยทั่วไปอุณหภูมิก่อนและหลังจะต้องต่างกันอย่างน้อย 10 °C ขึ้นไป

- การตรวจสอบชุดกรองอากาศ คือตรวจสอบสภาพกรองอากาศให้มีสภาพที่ดีอยู่เสมอโดยดูได้จากอินดิเคเตอร์ของเครื่องอัดอากาศหรือตรวจสอบจากอายุการใช้งานตามคู่มือของโรงงานผู้ผลิต และยังดูจากสภาพภายนอกของชุดกรองอากาศ ถ้าอยู่ในสภาพที่สกปรกมากควรใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดหรือทำการเปลี่ยนชุดกรองอากาศใหม่ [10]

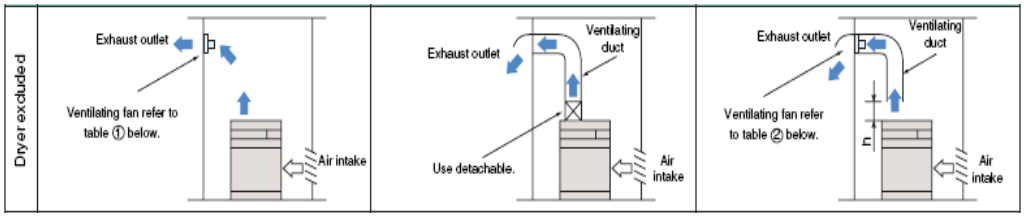
สำหรับการตรวจสอบอุปกรณ์อื่นๆของเครื่องอัดอากาศให้มีสภาพที่ดีอยู่เสมอ ถึงแม้จะไม่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงานโดยตรง แต่ก็เป็นการยืดอายุเครื่องอัดอากาศให้มีการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2.1.4 การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

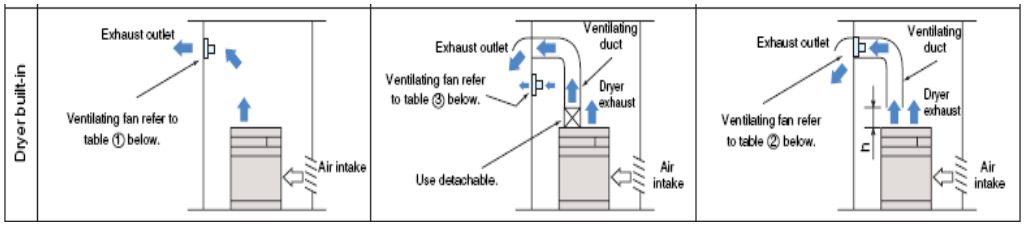
การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศเป็นการเพิ่มมวลอากาศ อุณหภูมิของอากาศที่ต่ำย่อมมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูง เมื่อเกิดการอัดอากาศย่อมได้เนื้ออากาศอัดที่มากกว่า และเป็นการลดการใช้พลังงานในระหว่างการอัดอากาศอีกทั้งยัง

เป็นการเพิ่มคุณภาพของอากาศอัดด้วย การลดอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศทุกๆ 3°C จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 1% ของกำลังการผลิต นอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานให้กับเครื่องอัดอากาศแล้วยังช่วยลดการใช้พลังงานในส่วนของแอร์ไดเออร์ได้อีกด้วย

ปกติห้องเครื่องอัดอากาศจะมีอุณหภูมิสูงเกิดจากการออกแบบระบบระบายอากาศที่ผิดพลาด หมายถึงอากาศร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องอัดอากาศไม่สามารถระบายออกนอกห้องเครื่องอัดอากาศได้ ทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นภายในห้องเครื่องอัดอากาศ การออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมเป็นไปตามรูปที่ 2.6



Item	(kW)	7.5	11	15	22	37	55	75	100	150
Heat generation	MJ/h	33.1	47.3	63.2	90.8	154	226	306	406	650
Air exhaust (air compressor)	m³/min	20	28	28	55	75	100	150	200	180×2
Approx. temp. Rise (exhaust air)	°C	25	25	35	25	31	35	30	31	30
Allowable pressure loss (exhaust duct)	Pa	20								
Recommended fan capacity ①	m³/min	88	125	167	240	407	598	810	1,074	1,720
Recommended fan capacity ②	m³/min	23	32	32	63	86	115	173	230	207×2



Item	(kW)	7.5	11	15	22	37	55	75
Heat generation	MJ/h	36.4	52.3	69.9	104	175	251	352
Air exhaust (air compressor)	m³/min	20	28	28	55	75	100	150
Air exhaust (airf dryer)	m³/min	10	18	18	30	50	30	30
Approx. temp. Rise (exhaust air)	°C	25	25	35	25	31	35	30
Externally allowable pressure loss	Pa	20						
Recommended fan capacity ①	m³/min	96	138	185	276	464	664	932
Recommended fan capacity ②	m³/min	33	47	52	102	149	181	295
Recommended fan capacity ③	m³/min	10	15	20	39	62	66	122

รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อระบายความร้อนภายในห้องเครื่องอัดอากาศ[11]

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ คือสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกห้องในที่ร่มไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส และช่องดูดอากาศเข้าไม่ใกล้แหล่งความชื้น ค่าพลังงานที่ประหยัดได้จากการลดอุณหภูมิขาเข้าสามารถหาได้จาก

$$\Delta W = \frac{ikR_w T_1}{k-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/(ik)} - 1\right] \qquad (2.4)$$

เมื่อกำหนดให้

ΔW = ค่าพลังงานที่ลดลงจากการลดอุณหภูมิ (kJ/kg)

i = จำนวนขั้นตอนการอัดอากาศ (Stage compressor)

k = อัตราส่วนความร้อนจำเพาะสำหรับอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.4

R_w = 0.2871 kJ/kg (ค่าคงที่ของก๊าซสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 15°C ที่ระดับน้ำทะเล)

T_1 = อุณหภูมิก่อนการปรับปรุง

T_2 = อุณหภูมิหลังการปรับปรุง

P_1 = ความดันที่ 1 บรรยากาศ (1.013 bar)

P_2 = ความดันอากาศอัดที่ผลิต

และยังสามารถหาค่ากำลังงานที่ประหยัดได้

$$P = \Delta W \times D_{air} \times FAD \times \%load \qquad (2.5)$$

เมื่อ

P = กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการลดอุณหภูมิขาเข้าเครื่องอัดอากาศ (Watt)

D_{air} = 1.225×10^{-3} kg/liter (ความหนาแน่นของอากาศที่ 15°C)

FAD = อัตราการไหลของของอากาศ (liter/sec)

%load = % การ on load ใน 1 รอบการทำงาน

2.1.5 การลดความดันในการผลิตอากาศอัดที่เครื่องอัดอากาศ [12]

การปรับปรุงท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัดนอกจากจะเป็นการลดการสูญเสียความดัน เมื่อเราทำการปรับปรุงท่อเมนแล้วต้องทำการปรับลดความดันที่เครื่องอัดอากาศลง เพราะการลดความดันในการผลิตอากาศอัดลงจะเป็นการประหยัดพลังงานในการอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศ

มีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องว่า การผลิตความดันอากาศอัดที่ความดันสูงๆ แล้วให้เครื่องหยุดพักในลักษณะแบบไร้โหลด จะทำให้เครื่องได้หยุดพักและใช้พลังงานน้อยลง ซึ่งก็เป็นความจริง เครื่องอัดอากาศที่ทำงานในลักษณะไร้โหลดเป็นการที่มอเตอร์กินค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยลงแต่มิได้จ่ายอากาศอัดออกมาเท่ากับว่าเป็นการสูญเสียพลังงานอย่างมากในช่วงนี้ อุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดทั่วๆไป มีความต้องการอากาศอัดเพียง 5-6 bar เท่านั้น หากอุปกรณ์ใดมีการใช้อากาศอัดที่ความดันสูงกว่านี้ จะถูกจัดไว้เป็นอุปกรณ์พิเศษ ควรทำการแยกระบบท่อออกไป หรือถ้าอุปกรณ์ประเภทนี้มีไม่มากนักควรใช้ปั๊มเพิ่มความดัน (Pressure booster) เพื่อเพิ่มความดันอากาศอัดเฉพาะเป็นจุดๆ ไม่ควรทำการผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงเพื่อรองรับอุปกรณ์ที่ใช้ความดันพิเศษเพียงบางจุด

ขั้นตอนการลดความดันในการผลิต

- สำรวจการใช้อากาศอัดทุกๆจุด
- สำรวจความต้องการความดันอากาศอัดของเครื่องจักร ว่าต้องการความดันสูงสุดเท่าใดก่อนการปรับลดความดันเพื่อมิให้มีผลกระทบต่อการผลิต
- การปรับลดความดันควรเป็นแบบลักษณะค่อยๆลด โดยพยายามลดลงคราวละประมาณ 0.5 bar หรือน้อยกว่านี้ถ้าเครื่องสามารถปรับได้

ผลประหยัดที่ได้จากการลดความดันในการผลิตอากาศอัดสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta W = \frac{ikR_wT}{k-1}\left(\left[\frac{P_1}{ik}\right]^{\frac{k-1}{ik}} - \left[\frac{P_2}{ik}\right]^{\frac{k-1}{ik}}\right) \Big/ \left(\left[\frac{P_a}{ik}\right]^{\frac{k-1}{ik}}\right) \qquad (2.6)$$

เมื่อ

ΔW = ค่าพลังงานที่ลดลงจากการลดอุณหภูมิ (kJ/kg)

i = จำนวนขั้นตอนการอัดอากาศ (No. of compression stages)

k = อัตราส่วนความร้อนจำเพาะสำหรับอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.4

R_w = 0.2871 kJ/kg (ค่าคงที่ของก๊าซสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 15°C ที่ระดับน้ำทะเล)

T = อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ (°C)

P_1 = ความดันอากาศอัดก่อนการปรับปรุง (bar)

P_2 = ความดันอากาศหลังการปรับปรุง (bar)

P_a = ความดันที่ 1 บรรยากาศ (1.013 bar)

และยังสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้

$$P = \Delta W \times D_{air} \times FAD \times \%load \qquad (2.7)$$

P = กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการลดอุณหภูมิขาเข้าเครื่องอัดอากาศ

ΔW = ค่าพลังงานที่ลดลงจากการลดอุณหภูมิ (kJ/kg)

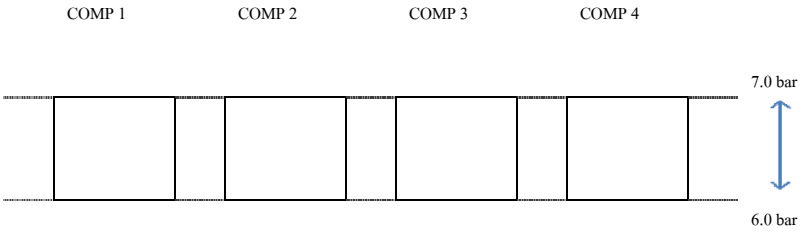
D_{air} = 1.225×10^{-3} kg/liter (ความหนาแน่นของอากาศที่ 15°C)

FAD = อัตราการไหลของอากาศ (liter/sec)

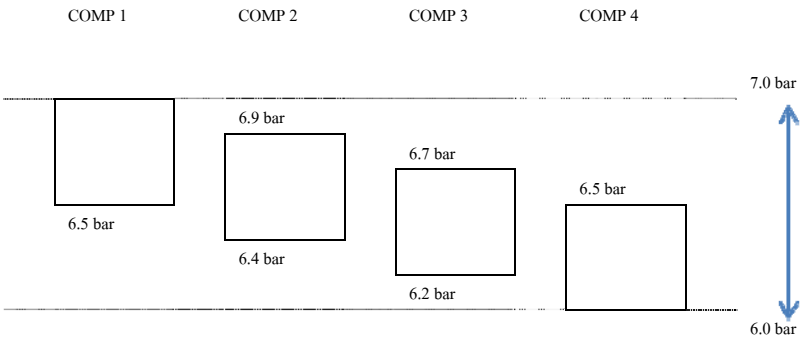
%load = % การ on load ใน 1 รอบการทำงาน

2.1.6 การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศ

การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการ คือการวางแผนการใช้เครื่องอัดอากาศให้มีการเดินตัวเปล่า(unload) น้อยที่สุด ไม่ควรให้มีการเดินตัวเปล่ามากกว่า 10% เพื่อการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยทั่วไปสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องอัดอากาศหลายๆเครื่องต่อร่วมในระบบเดียวกัน มักมีการตั้งค่าความดันในการตัดต่อเครื่องอัดอากาศเท่ากัน เครื่องอัดอากาศก็จะมีการทำงานพร้อมกันและหยุดพร้อมกัน ซึ่งจะเกิดปัญหาการเดินตัวเปล่าเป็นอย่างมาก สำหรับการจัดโหลดให้เหมาะสมเป็นการตั้งความดันให้มีค่าเหลื่อมกันเป็นลักษณะขั้นบันได ซึ่งจะสามารถลดช่วงเวลาการเดินเครื่องตัวเปล่าได้



รูปที่ 2.7 แสดงการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศที่มีการตัดต่อเท่ากัน



รูปที่ 2.8 แสดงการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศที่มีค่าเหลื่อมกัน

จากวิธีการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศให้มีค่าเหลื่อมกันแล้ว ยังจะต้องมีวิธีการเลือกเครื่องอัดอากาศสำหรับการเป็นเครื่องอัดอากาศตัวแมน โดยการเลือกเครื่องอัดอากาศแมนหลักมีวิธีการเลือกดังนี้

- ควรเลือกเครื่องที่มีกำลังการผลิตมากกว่าเป็นตัวหลักในการทำงานและเครื่องขนาดรองลงเป็นตัวเสริมโหลด
- เลือกเครื่องที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเป็นตัวหลัก เพราะจะใช้พลังงานน้อยกว่า
- ถ้าเครื่องมีอัดอากาศมีระบบอินเวอเตอร์ให้เลือกเครื่องอัดอากาศประเภทนี้เป็นตัวหลักก่อน

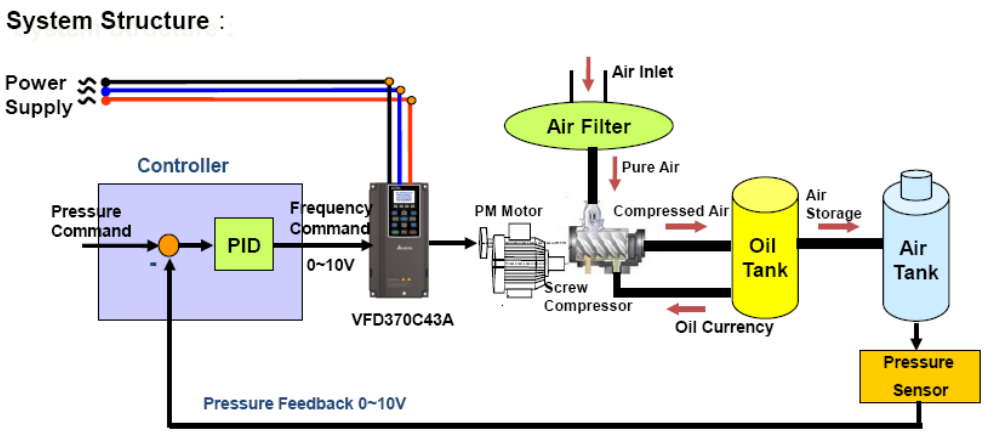
สำหรับการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศ ถ้ามีการใช้เครื่องควบคุมอัตโนมัติควบคุมการทำงานจะช่วยให้ควบคุมช่วงความกว้างของความดันได้ละเอียดและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2.1.7 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดอากาศ

การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Variable speed control) เป็นวิธีควบคุมเครื่องอัดอากาศให้มีการผลิตอากาศอัดให้สอดคล้องกับความต้องการอากาศอัดโดยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ (ลดลงได้ถึง 20% ของกำลังการผลิตอากาศอัดของเครื่อง) ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะต้องทำการศึกษาให้ดีก่อนว่าสามารถลดความเร็วรอบได้สูงสุดที่ระดับใด โดยไม่ทำให้เกิดผลกระบทบต่อมอเตอร์ เพราะการลดความเร็วรอบลงมากๆ อาจส่งผลต่อการทำงานของระบบการระบายความร้อนของมอเตอร์

การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะเหมาะกับเครื่องอัดอากาศที่มีโหลดบางส่วนที่มีช่วงระยะเวลานานๆ แต่จะไม่เหมาะกับเครื่องอัดอากาศที่มีโหลดเต็มพิกัดเพราะไม่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศในขณะนี้จะนิยมนำมาใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบสกรู (เป็นอุปกรณ์ Standard Measure ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งกับมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Ac Induction Motor) และมอเตอร์ความต้านทานแม่เหล็ก

(Reluctance Motor) หลักการทำงานของเครื่องควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศจะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์วัดความดัน เพื่อวัดความดันในระบบ ถ้าความดันในระบบลดลงต่ำกว่าที่กำหนด เครื่องควบคุมความเร็วรอบจะเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ ในทางกลับกัน ความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศจะถูกลดลงเมื่อความดันเพิ่มถึงระดับที่กำหนด



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างการทำงานของชุดควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศ[13]

ในกรณีที่มีเครื่องอัดอากาศหลายเครื่อง สามารถติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบเสริมกับแบบธรรมดา ในการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะติดตั้งกับเครื่องอัดอากาศเพียงเครื่องเดียว ในการทำงานของระบบนี้ จะมีเครื่องอัดอากาศแบบ On/Off + เครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบเสริมกัน หลักการทำงานโดยให้เครื่องอัดอากาศแบบควบคุมความเร็วรอบทำงานเป็นตัวหลักให้ทำงานก่อนเสมอ เมื่อเครื่องอัดอากาศแบบควบคุมความเร็วรอบไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้เพียงพอ เครื่องอัดอากาศตัวอื่นก็จะทำงานขึ้นตามลำดับ และหากเมื่ออากาศมากเกินความต้องการ เครื่องอัดอากาศที่ควบคุมความเร็วรอบก็จะทำหน้าที่ปรับค่าอัตราการไหลให้ตรงตามความต้องการจริงของระบบ

2.1.8 การปรับปรุงคุณภาพอากาศอัดให้เหมาะสมกับลักษณะงาน

คุณภาพอากาศอัดที่หลายระดับหลายกระบวนการผลิต บางชนิดต้องการอากาศอัดที่มีคุณภาพสูงกว่าอากาศอัดที่ผลิตได้จากเครื่องอัดอากาศ คุณภาพอากาศอัดที่ดีต้องปราศจากสิ่งสกปรก, น้ำ,

น้ำมัน และจุลินทรีย์เจือปน ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพได้และถ้ายิ่งมีความต้องการอากาศอัดคุณภาพสูงเท่าใดจะต้องใช้พลังงานในการปรับปรุงมากขึ้นเท่านั้น และจะต้องมีการเพิ่มความดันอากาศที่ผลิตมากขึ้น เพราะมีความดันอากาศบางส่วนตกคร่อมในตัวอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพอากาศอัด

เนื่องจากระดับความต้องการมีหลายระดับ และคุณภาพอากาศอัดเป็นค่าที่มีช่วงกว้างมาก จึงมีความจำเป็นที่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ให้ถูกต้องเหมาะสมกับงานนั้นๆ และในขณะเดียวกันต้องให้ความสำคัญที่จะลดการใช้พลังงาน เพราะจะมีการใช้พลังงานจำนวนหนึ่งไปกับระบบปรับปรุงคุณภาพอากาศอัดในระดับที่สูงเกินความจำเป็น

คุณภาพของอากาศอัดถือได้ว่ามีความจำเป็นอย่างมากในระบบอัดอากาศ เพราะในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีความต้องการคุณภาพของอากาศอัดแตกต่างกัน ถ้าคุณภาพของอากาศอัดต่ำเกินไปจะส่งผลเสียหายต่อชิ้นงานที่ผลิตได้ แต่ถ้าคุณภาพของอากาศอัดสูงเกินไปจะทำให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ฉะนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับคุณภาพของอากาศอัดโดย ISO8573-1 สำหรับ ISO8573-1 เป็นมาตรฐานของสิ่งปนเปื้อนที่ปนมากับอากาศอัดที่มีอยู่ด้วยกัน 3 อย่างได้แก่ อนุภาคที่เป็นของแข็ง, ความชื้น และน้ำมันเครื่อง

ตารางที่ 2.2 แสดงมาตรฐานอนุภาคที่เป็นของแข็ง, ความชื้น และปริมาณน้ำมันเครื่อง ตาม ISO8573-1[14]

Class	Maximum number of particles per m^3 (see clause 5)				Particle size	Concentration
	Particle size, d µm				µm	mg/m^3
	$\leqslant 0{,}10$	$0{,}10 < d \leqslant 0{,}5$	$0{,}5 < d \leqslant 1{,}0$	$1{,}0 < d \leqslant 5{,}0$		
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than class 1				Not applicable	Not applicable
1	Not specified	100	1	0		
2	Not specified	100 000	1 000	10		
3	Not specified	Not specified	10 000	500		
4	Not specified	Not specified	Not specified	1 000		
5	Not specified	Not specified	Not specified	20 000		
6	Not applicable				$\leqslant 5$	$\leqslant 5$
7	Not applicable				$\leqslant 40$	$\leqslant 10$
NOTE A filtration ratio (β) related to a particle size class is the ratio between the number of particles upstream of the filter and the number of particles downstream. This can be expressed as ($\beta = 1/P$), where P is the penetration of the particles expressed as the ratio of down stream particle concentration to upstream particle concentration. The particle size class is used as an index, e.g. $\beta_{10} = 75$ means that the number of particles of size 10 µm (β m) and larger is 75 times higher upstream of the filter than downstream.						

Class	Pressure dewpoint °C
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than class 1
1	$\leqslant -70$
2	$\leqslant -40$
3	$\leqslant -20$
4	$\leqslant +3$
5	$\leqslant +7$
6	$\leqslant +10$

Class	Concentration total oil (aerosol, liquid, and vapour) mg/m^3
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than class 1
1	$\leqslant 0{,}01$
2	$\leqslant 0{,}1$
3	$\leqslant 1$
4	$\leqslant 5$

สำหรับคุณภาพอากาศอัดที่ใช้ในงานทั่วไปแสดงไว้ตามตารางที่ 2.3

ลักษณะการใช้งาน	ชั้นคุณภาพอากาศ		
	น้ำมัน	ฝุ่น	น้ำ
เครื่องกวนใช้อากาศอัด	3	5	2
แบริ่งอากาศอัด	2	2	3

ใช้อากาศอัดวัดขนาด	2	3	3
มอเตอร์ขับด้วยอากาศอัด	4	4	5
เครื่องทำอิฐและแก้ว	4	4	5
ทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องจักร	4	4	4
งานก่อสร้าง	4	5	5
การลำเลียง ชิ้นงานเป็นเม็ด	3	4	3
การลำเลียงด้วยลม	2	3	2
ลักษณะการใช้งาน	ชั้นคุณภาพอากาศ		
	น้ำมัน	ฝุ่น	น้ำ
งานไฮดรอลิค, หัวอ่าน	2	2	2
เครื่องจักรงานหล่อ	4	4	5
อาหารและเครื่องดื่ม	2	3	1
เครื่องมือใช้อากาศอัดที่ควบคุมด้วยมือ	4	5	5
เครื่องมือกล	4	3	5
งานเหมืองแร่	4	5	5
การผลิตอุปกรณ์ไมโคร-อิเล็กทรอนิกส์	1	1	1
เครื่องบรรจุและสิ่งทอ	4	3	3
กระบวนการฟิล์มถ่ายภาพ	1	1	1
กระบอกลม	3	3	5
เครื่องมือนิวเมติกส์	4	4	4

อุปกรณ์ควบคุมกระบวนการผลิต	2	2	3
การพ่นสี	3	3	3
การเป่าทราย	-	3	3
เครื่องเชื่อม	4	4	5
อากาศที่ใช้ในโรงซ่อมทั่วไป	4	4	5

โรงงานส่วนใหญ่ต้องการอากาศอัดที่มีคุณภาพสูงเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นเราสามารถประหยัดพลังงานได้มาก โดยการปรับปรุงคุณภาพอากาศอัดที่ระดับต่ำสุดเท่าที่เป็นไปได้สำหรับการใช้งานทั่วๆไปและเพิ่มคุณภาพอากาศอัดในระดับที่ต้องการให้เหมาะสมเฉพาะจุดที่จำเป็นเท่านั้น

องค์ประกอบของการสร้างอากาศอัดที่มีคุณภาพ

แอร์ไดเออร์(Air dryer) ทำหน้าที่กำจัดความชื้นออกจากอากาศอัด โดยวิธีการสร้างความเย็นแล้วถ่ายเทให้กับอากาศอัด ไอน้ำที่ปนอยู่ในอากาศอัดจะทำการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำก่อนที่จะถูกทิ้งออกจากระบบอากาศอัด ข้อจำกัดของแอร์ไดเออร์คือสามารถทำ Pressure dew point ได้ประมาณ 5°C ถ้ามีการสร้างความเย็นมากกว่านี้น้ำที่กลั่นตัวออกมามีโอกาสที่จะกลายเป็นน้ำแข็งทำให้ท่อตันได้

ฟิวเตอร์กรองอนุภาคที่เป็นของแข็ง(Pre filter) ทำหน้าที่ในการกรองอนุภาคที่เป็นของแข็งที่ปนมากับอากาศอัด ความละเอียดของฟิวเตอร์มีให้เลือกหลากหลายซึ่งความละเอียดจะอยู่ในช่วง 1-5 μm

ฟิวเตอร์กรองไอน้ำมันเครื่อง(Coalescent filter) ทำหน้าที่ในการกรองไอน้ำมันเครื่องที่ปนมากับอากาศอัดความละเอียดของไส้กรองอยู่ที่ 0.01 μm

ฟิวเตอร์กรองกลิ่น(Carbon filter) ทำหน้าที่ในการดักจับกลิ่น องค์ประกอบหลักของตัวฟิวเตอร์คือ activated carbon

ฟิวเตอร์กรองแบคทีเรีย(Bacteria filter) ทำหน้าที่ในการกรองแบคทีเรียส่วนใหญ่ใช้กับงานโรงพยาบาล

เดสซิแคนท์แอร์ไดเออร์(Desiccant air dryer) ทำหน้าที่กำจัดความชื้นออกจากระบบ โดยใช้สารดูดซับ เม็ดสารดูดซับที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิดได้แก่ molecular sieve และ activated alumina ความสามารถในการทำ Pressure dew point -70°C และ -40°C ตามลำดับ ข้อเสียของตัวเดสซิแคนท์แอร์ไดเออร์อยู่ที่ในขั้นตอนการทำงานจะต้องมีอากาศอัดบางส่วนที่ต้องทิ้งไปคิดเป็น 15-20% ของอากาศอัดด้านขาเข้า จึงค่อนข้างเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก

ชุดปล่อยน้ำทิ้งอัตโนมัติ(automatic drain) ทำหน้าที่ในการปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบอัดอากาศ มีให้เลือกหลายรูปแบบ เช่นแบบใช้ไฟฟ้า, แบบใช้ลูกลอย เป็นต้น ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งชุดปล่อยน้ำทิ้งอัตโนมัติได้แก่ ใต้ถังเก็บอากาศอัด, แอร์ไดเออร์ และชุดฟิวเตอร์ต่างๆ

2.1.9 บำรุงรักษาชุดกรองและจุดกรองต่างๆในระบบอัดอากาศ

ในการผลิตอากาศอัดที่มีคุณภาพจำเป็นต้องมีไส้กรองเป็นจำนวนมาก ควรมีการบำรุงรักษาคือ การหมั่นทำความสะอาดเป็นประจำ, ตรวจสอบจากอินดิเคเตอร์ของชุดไส้กรองเองถ้าพบค่าเกินกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดให้ทำการเปลี่ยนตัวใหม่ทันที หรือในกรณีที่ไม่มีอินดิเคเตอร์ควรทำการเปลี่ยนไส้กรองตามอายุการใช้งานที่ทางผู้ผลิตกำหนดมา การบำรุงรักษาที่ดีส่งผลให้การไหลของอากาศไหลได้ดี ความต้านทานในระบบอัดอากาศต่ำและเป็นการประหยัดพลังงาน

2.1.10 การเลือกถังเก็บอากาศอัดที่เหมาะสม ถังเก็บอากาศอัด(Receiver tank) ทำหน้าที่คือ เก็บอากาศอัดและลดการกระเพื่อมของแรงดันอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ, สามารถชดเชยความต้องการของโหลดในลักษณะช่วงความต้องการโหลดสูงสุด(Peak load)ได้, ช่วยลดการตัดต่อของเครื่องอัดอากาศที่บ่อยเกินไป และช่วยระบายความร้อนของอากาศอัดพร้อมทั้งเป็นจุดกลั่นตัวของน้ำและน้ำมัน ขนาดของถังเก็บอากาศอัดมี 2 ลักษณะคือ

- ระบบที่มีความต้องการอากาศอัดคงที่ คือระบบที่มีการใช้อากาศอัดสม่ำเสมอต่อเนื่องจนหยุดผลิต ปริมาตรถังเก็บอากาศอัดไม่จำเป็นต้องใหญ่มากนัก

- ระบบที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดที่ไม่คงที่ คือระบบที่มีการใช้อากาศอัดไม่สม่ำเสมอมีความต้องการอากาศอัดในบางช่วงเวลาต่างกันค่อนข้างสูง จึงจำเป็นที่จะต้องติดตั้งถังเก็บอากาศอัดไว้ชดเชยความต้องการโหลดบางช่วงที่มีความต้องการมากกว่ากำลังการผลิตของเครื่องอัดอากาศ การหาขนาดถังเก็บอากาศอัดที่เหมาะสม

$$V_R = \frac{A \times C_0 \times P_0}{P_g + P_0} \qquad (2.8)$$

เมื่อ

V_R = ปริมาตรถังเก็บอากาศ (m^3)

C_0 = กำลังการผลิตของอากาศอัด (m^3/min)

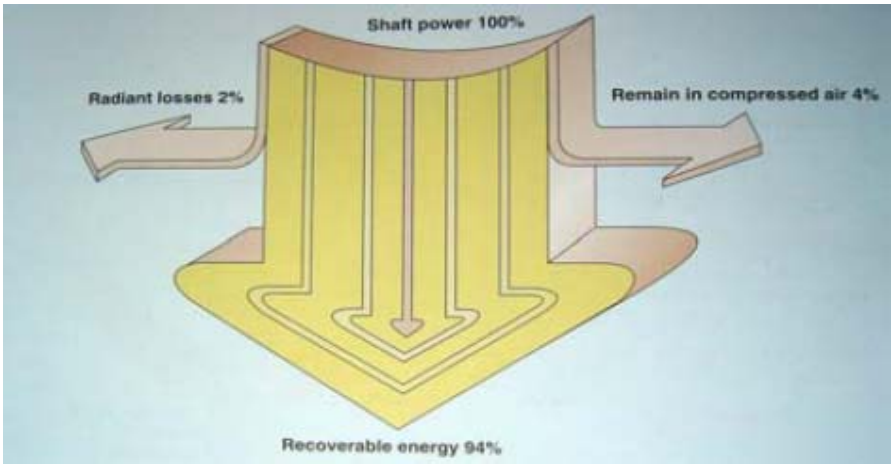
P_0 = ความดันสมบูรณ์ของบรรยากาศ (1.013 bar)

P_g = ความดันเกจ (bar)

A = ค่าตัวประกอบของเวลา (min) โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับโหลดคงที่ และมีค่าเท่ากับ 3 สำหรับโหลดที่ความต้องการปริมาณอากาศอัดไม่คงที่

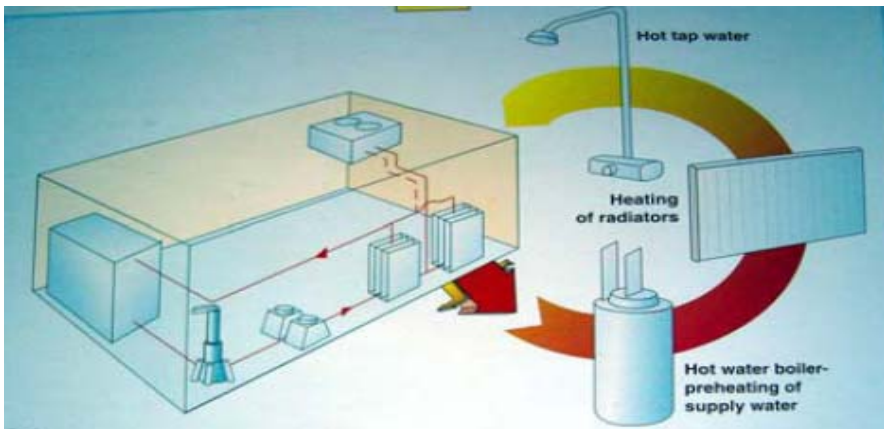
2.1.11 การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศกลับมาใช้

พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้นั้นจะแปรเป็นรูปพลังงานสองส่วน คือ พลังงานอากาศอัด และพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนนี้สามารถนำกลับมาใช้ได้ถึง 94% เมื่อเทียบกับพลังงานที่ปลายเพลา ที่เหลือเป็นพลังงานความร้อนแผ่ 2% และเป็นพลังงานอากาศอัด 4%



รูปที่ 2.10 สัดส่วนการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเป็นพลังงานรูปอื่นของเครื่องอัดอากาศ

พลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งสามารถนำกลับมาใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น การนำมาอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ, การนำกลับมาอุ่นอากาศเพื่อใช้ในการอบหรือให้ความร้อน และการนำมาแลกเปลี่ยนทำน้ำอุ่น เป็นต้น



รูปที่ 2.11 การนำพลังงานความร้อนที่ได้จากเครื่องอัดอากาศมาใช้โดยผ่านอุปกรณ์ต่างๆ

ประโยชน์ของการนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศกลับมาใช้

- ช่วยประยัดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนของพลังงานความร้อนในอุปกรณ์ต่างๆ
- ลดปัญหาอุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ
- เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้กับเครื่องอัดอากาศ

การคำนวณค่าพลังงานความร้อนทิ้งกลับมาใช้

$$W_{heat} = [(K_1 \times Q_1)+(K_2 \times Q_2)] \times T_R \times N \quad (2.9)$$

เมื่อ

W_{heat} = พลังงานความร้อนที่นำกลับมา (kWh/year)

K_1 = เวลาทำงานของเครื่องอัดอากาศช่วงโหลด

K_2 = เวลาทำงานของเครื่องอัดอากาศช่วงไร้โหลด

Q_1 = กำลังไฟฟ้าช่วงโหลด (kW)

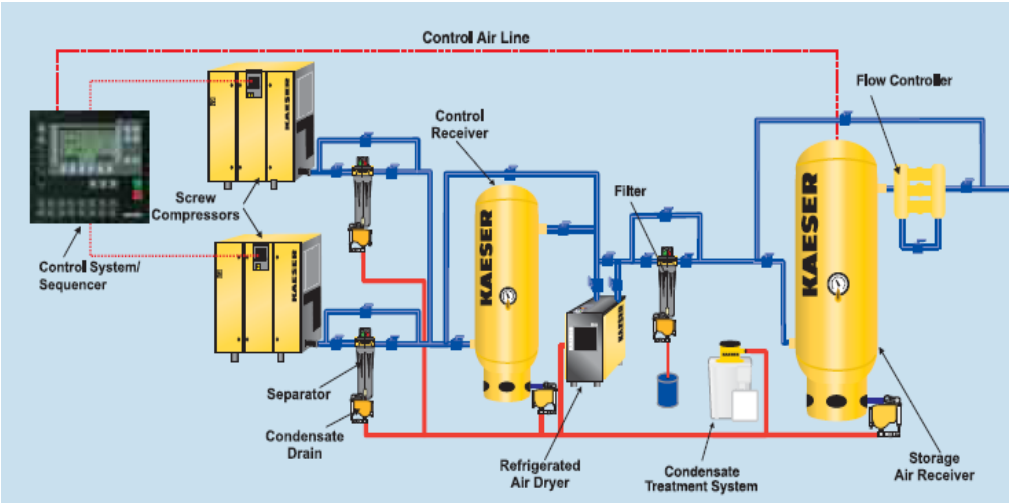
Q_2 = กำลังไฟฟ้าช่วงไร้โหลด (kW)

T_R = ชั่วโมงที่นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ (hours)

N = ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายพลังงานความร้อน

2.1.12 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดอากาศจากศูนย์กลางเดียวกัน

ในกรณีที่เครื่องอัดอากาศหลายๆเครื่อง โดยปกติการควบคุมสภาวะโหลดและไม่มีโหลดของเครื่องอัดอากาศจะควบคุมโดยใช้สวิสต์ควบคุมความดันของเครื่องอัดอากาศภายในเครื่อง ทำให้การทำงานของเครื่องอัดอากาศเป็นลักษณะการทำงานที่ไม่มีทิศทางที่เหมาะสม การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดอากาศจากศูนย์กลางจะทำให้เป็นการควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เป็นการช่วยในเรื่องการประหยัดพลังงานและยังช่วยให้เครื่องอัดอากาศมีอายุการทำงานที่ใกล้เคียงกันอีกด้วย



รูปที่ 2.12 แสดงการใช้อุปกรณ์ควบคุมเครื่องอัดอากาศจากศูนย์กลางเดียว[15]

2.2 การปรับปรุงระบบอัดอากาศในส่วนการส่งจ่ายอากาศอัด

2.2.1 การปรับปรุงท่อเมนในการส่งจ่ายอากาศอัด

ผู้ออกแบบจะออกแบบระบบท่อเมนที่เหมาะสมกับเครื่องจักรในขณะนั้น แต่เมื่อโรงงานมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นมีการเพิ่มเครื่องจักรมากขึ้น ความต้องการปริมาณอากาศอัดมากขึ้น ทางโรงงานมักแก้ปัญหาโดยซื้อเครื่องอัดอากาศเพิ่ม แต่มิได้คำนึงถึงขนาดท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัดว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เมื่อทำการปรับปรุงท่อเมนเพื่อลดความดันสูญเสียแล้วต้องทำการปรับลดความดันที่เครื่องผลิตอากาศอัดลงเพื่อการประหยัดพลังงาน

หลังจากเครื่องอัดอากาศได้ทำการผลิตอากาศอัด อากาศอัดจะถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังจุดใช้งาน การส่งจ่ายอากาศอัดอาจทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้มาก จากการที่ต้องผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงเพื่อเผื่อความดันสูญเสียเมื่ออากาศอัดมีการไหลผ่านท่อ, วาล์ว และอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆที่มีขนาดไม่ถูกต้อง ซึ่งเป็นสาเหตุให้อากาศอัดไหลด้วยความเร็วสูงแล้วเกิดความดันตกในระบบการส่งจ่าย ดังนั้นควรออกแบบระบบท่อให้มีการสูญเสียความดันให้น้อยที่สุด สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันได้แก่ 1) แรงเสียดทานระหว่างอากาศอัดกับผนังท่อ 2) การปรับทิศทางการไหลของอากาศอัด 3) การเปลี่ยนความเร็วของอากาศอัดเนื่องจากการเพิ่มหรือลดขนาดท่อ ความดันลดเนื่องจากแรงเสียดทานสามารถหาได้จาก

$$\Delta P = \frac{f \times L \times Q^{1.85}}{P_m \times D^5} \qquad (2.10)$$

เมื่อ

ΔP = ความดันที่สูญเสีย (bar)

f = ตัวประกอบความเสียดทาน

L = ความยาวท่อ (เมตร)

Q = ปริมาณการไหลของอากาศ (L/s)

P_m = ความดันสัมบูรณ์เฉลี่ยในท่อ (bar)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (mm)

2.2.2 การออกแบบท่อเมน

ขนาดของท่อเมนควรมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ให้เกิดความสูญเสียความดันภายในท่อมากเกินไป โดยทั่วไปแล้วความดันสูญเสียไม่ควรเกิน 5% ทุกระยะ 30 เมตรของความยาวของท่อหรือที่ความเร็วของอากาศอัดในท่อเมนไม่เกิน 6 m/s แต่ความดันสูญเสียทั้งระบบไม่ควรเกิน 10% โดยประมาณ หรือยอมให้ 15% ชั่วขณะความต้องการสูงสุด ในแต่ละจุดที่นำอากาศอัดไปใช้งาน ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นไม่ควรเกิน 0.1-0.2 bar ณ.ความต้องการอากาศอัดสูงสุด ขนาดของท่อย่อยก็เช่นกันแตกต่างกันตรงความเร็วของอากาศอัดไม่ควรเกิน 10 m/s

$$D_{mm} = \sqrt{\frac{3536 \times Q_{CMM} \times P_0}{P_g + P_0}} \qquad (2.11)$$

เมื่อ

P_0 = ความดันบรรยากาศ (1.013 bar)

P_g = ความดันเกจ (bar)

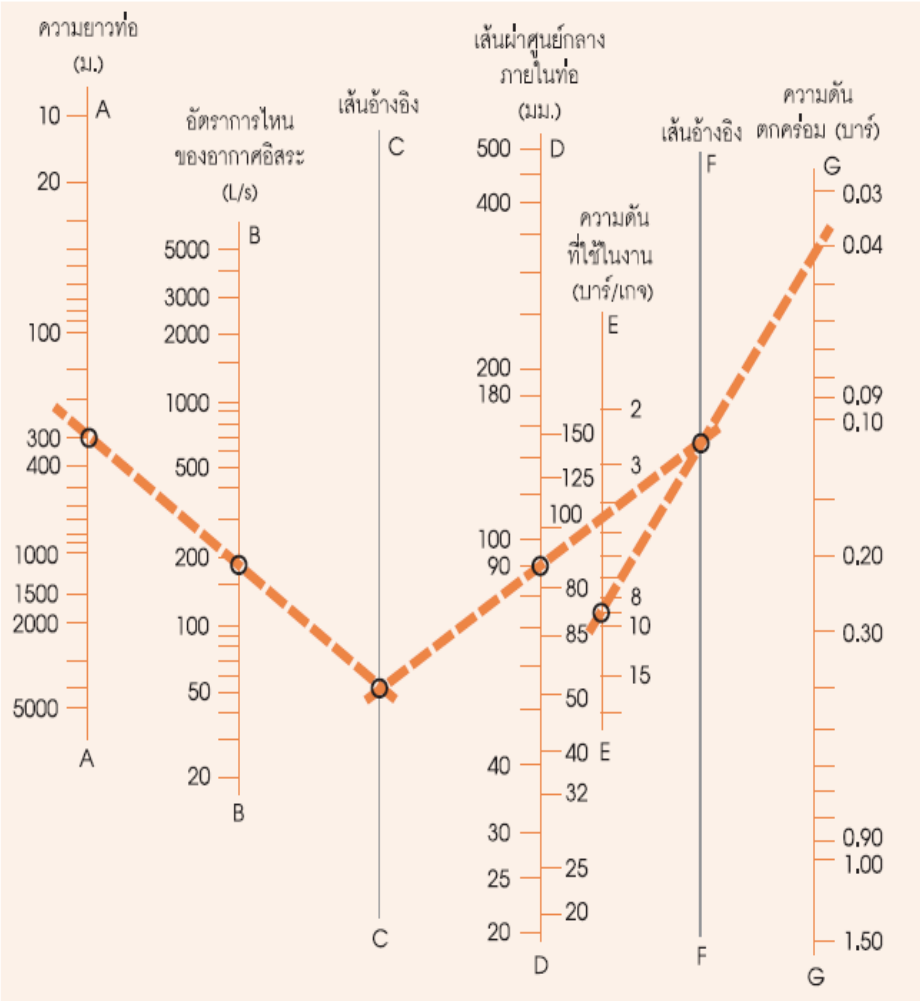
D_{mm} = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (mm)

Q_{CMM} = อัตราการไหลของอากาศอัดภายในท่อ (m^3/min)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการไหลของอากาศอัดที่ความดันและขนาดท่อต่างๆ

ASTM STANDARD PIPE Volume lite/sec at Pressure and Pipe Diameters (Velocity 6 m/s)												
Pipe (in)	1/2	3/4	1.0	1,1/4	1,1/2	2.0	2,1/2	3.0	3,1/2	4.0	5.0	6.0
P(bar) /Dia (mm)	15.76	50.96	26.64	35.08	40.94	52.48	62.68	77.92	90.12	102.26	128.2	154.08
4.0	5.9	10.4	16.8	29.1	39.6	65.1	92.8	143.5	191.9	247.1	388.3	561.0
4.5	6.5	11.4	18.4	32.0	43.6	71.6	102.1	157.8	211.0	271.7	427.1	616.9
5.0	7.0	12.5	20.1	34.9	47.5	78.1	111.3	172.1	230.2	296.4	465.8	672.9
5.5	7.6	13.5	21.8	37.8	51.5	84.5	120.6	186.4	249.3	321.0	504.5	728.8
6.0	8.2	14.5	23.5	40.7	55.4	91.0	129.9	200.7	268.5	345.7	543.3	784.8
6.5	8.8	15.6	25.1	43.6	59.4	97.5	139.1	215.0	287.6	370.3	582.0	840.7
7.0	9.4	16.6	26.8	46.5	63.3	104.0	148.4	229.3	306.7	395.0	620.7	896.7
7.5	10.0	17.6	28.5	49.4	67.3	110.5	157.6	243.6	325.9	419.6	659.5	952.6
8.0	10.6	18.7	30.1	52.3	71.2	117.0	166.9	257.9	345.0	444.2	698.2	1008.6
8.5	11.1	19.7	31.8	55.2	75.2	123.5	176.2	272.2	364.2	468.9	736.9	1064.5
9.0	11.7	20.7	33.5	58.1	79.1	130.0	185.4	286.5	383.3	493.5	775.7	1120.5
9.5	12.3	21.8	35.2	61.0	83.1	136.5	194.7	300.9	402.4	518.2	814.4	1176.4
10.0	12.9	22.8	36.8	63.9	87.0	143.0	203.9	315.2	421.6	542.8	853.1	1232.4

เราสามารถหาขนาดของท่อที่เหมาะสมได้ เมื่อเราทราบค่าอัตราการไหลของอากาศอัด, ความดันใช้งาน, ระยะของความยาวท่อ และกำหนดความดันตกคร่อมในระบบ เราก็จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อโดยใช้โมโนกราฟ

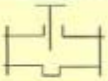
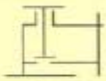
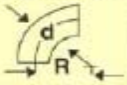
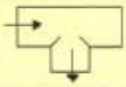


A: Pipe length(m)	= ความยาวท่อตรง(เมตร) รวมความยาวท่อและข้อต่อ	
B: Free air flow	= อัตราการไหลของอากาศอิสระ (ลิตร/วินาที)	
C: Reference line	= เส้นอ้างอิง	
D: Pipe inner diameter	= เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (มิลลิเมตร)	
Actual	= ขนาดจริง	
Nominal	= ขนาดระบุ	
E: Working pressure	= ความดันใช้งาน (บาร์ เกจ)	
F: Reference line	= เส้นอ้างอิง	
G: Pressure drop	= ความดันตกคร่อม (บาร์ เกจ) ของความยาวท่อตามเส้น A	

รูปที่ 2.13 การหาขนาดของท่ออากาศอัดโดยใช้โมโนกราฟ[16]

ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในข้อต่อต่างๆในการเดินท่ออากาศอัดสามารถหาได้จากตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในข้อต่อต่างๆในการเดินท่ออากาศอัด

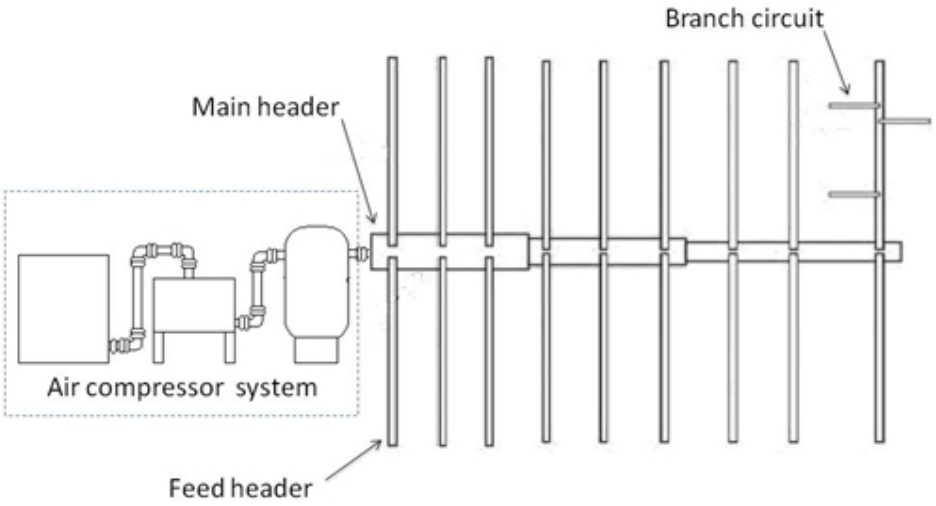
Equivalent length in metres												
		Inner pipe diameter in mm (d)										
Component		25	40	50	80	100	125	200	250	250	300	400
Ball valve (full flow)		0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 16	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Diaphragm valve fully open		1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Angle valve fully open		4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Poppet valve		7.5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
Flap check valve		2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Elbow R = 2d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Elbow R = d		0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
90° angle		1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Tee through-flow		0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
Tee side-flow		1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reducing nipple		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

2.2.3 การวางรูปแบบของท่อลม (Pipe Line Lay Out)

สำหรับการวาง Layouts ของท่อลมที่ใช้กันโดยทั่วไปในโรงงานนั้นมีหลัก ๆ 3 แบบ คือ ขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงาน จำนวนเครื่องจักร และอัตราการใช้ลม ซึ่งบางแห่งอาจเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่ง และบางแห่งก็อาจใช้หลายแบบผสมกันก็ได้ ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละแบบดังต่อไปนี้คือ

2.2.3.1 การวาง Layouts แบบกริด (Grid System)

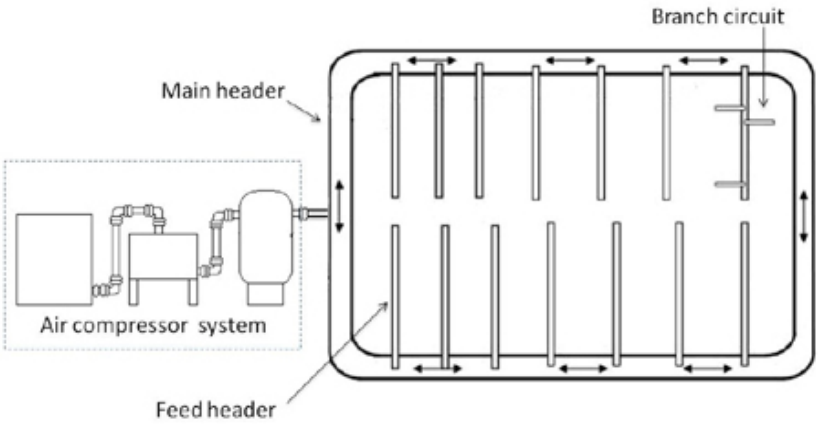
เหมาะกับไลน์หรือกลุ่มเครื่องจักรเล็ก ๆ ที่มีอัตราการใช้ลมน้อยและระยะการจ่ายลมจากเครื่องอัดลมไปจนถึงท้ายไลน์ไม่ไกลมากนัก โดยท่อเมน (Main Pipe) ที่ต่อออกจากถังลมมีขนาดใหญ่แล้วค่อย ๆ ลดขนาดให้เล็กลงในตอนท้าย ส่วนท่อสาขา (Branch Pipe) จะต่อออกจากท่อหลักเข้าสู่เครื่องจักรต่าง ๆ ลงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ไลน์การจ่ายลมแบบกริด[17]

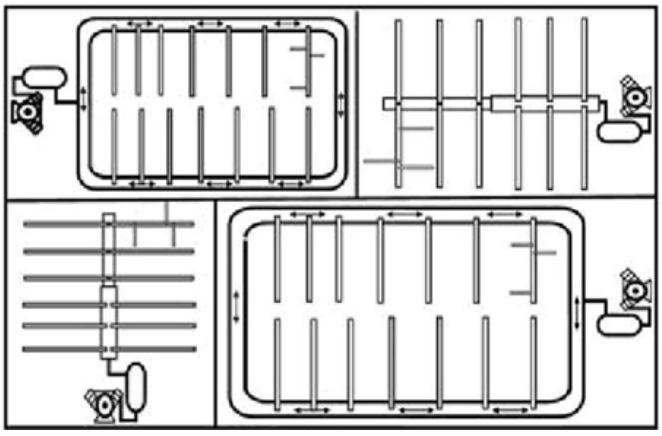
2.2.3.2 การวาง Layouts แบบวงท่อ (Loop Piping System)

เหมาะกับไลน์หรือกลุ่มเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่หรือครอบคลุมพื้นที่มาก มีอัตราการใช้ลมที่มากและท่อลมมีความยาวมาก ดังรูปที่ 10 การจัดวางไลน์ท่อลมแบบวง (Loop Piping System) นั้น วงของท่อจะเชื่อมต่อกันทั้งหมด และจ่ายลมออกจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ผ่านถังเก็บลมและระบบปรับปรุงคุณภาพลมเข้าสู่วง (Loop) ของท่อลม เนื่องจากไม่มีหัวไลน์และท้ายไลน์จึงทำให้การสมดุลแรงดันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงทำให้เกิดปัญหาแรงดันลมตก (Pressure Drop) น้อยกว่าระบบอื่น อีกทั้งเมื่อเกิดการใช้ลมที่ส่วนท้ายของวงท่อเป็นปริมาณมาก ลมจะวิ่งจากจุดจ่ายไปยังจุดที่ต้องการใช้ลมโดยผ่านท่อทั้งสองด้านของวงทำให้สามารถรองรับปริมาณการใช้ลมที่มากกว่าได้ในท่อขนาดเดียวกัน



รูปที่ 2.15 แสดงไลน์การจ่ายลมแบบวง[17]

สำหรับไลน์การผลิตอีกรูปแบบที่การผลิตหรือการเดินเครื่องไม่พร้อมกันในแต่ละเวลา เช่น มีไลน์การผลิตย่อยหลายไลน์ แต่ละไลน์มีเครื่องจักรที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน และการผลิตของไลน์แต่ละไลน์ไม่ได้ทำในเวลาเดียวกันหรืออาจมีเวลาที่ Lap กัน รูปแบบการเดินท่อและจ่ายลมอาจใช้รูปแบบผสมหรือรูปแบบแยกหน่วยได้ โดยรูปแบบนี้จะแบ่งไลน์ลมออกเพื่อความเหมาะสมกับความต้องการลมของแต่ละหน่วยผลิตย่อย ซึ่งอาจพิจารณาจากปริมาณการใช้ลม ขนาดและความยาวของท่อลมที่ใช้ตลอดจนเรื่องอื่น ๆ จากนั้นก็ติดตั้งปั๊มลมและถังเก็บลมสำหรับแต่ละหน่วยการผลิตโดยอาจมีทั้งไลน์ลมแบบวง (Loop) สำหรับหน่วยการผลิตย่อยที่มีขนาดใหญ่และไลน์ลมแบบกริด (Grid) สำหรับหน่วยการผลิตขนาดเล็กที่ใช้ลมไม่มาก



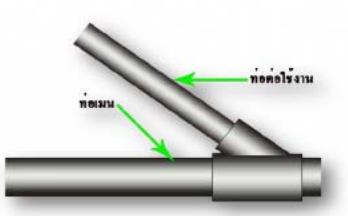
รูปที่ 2.16 ไลน์การจ่ายลมแบบผสมหรือแยกหน่วย[17]

การวางท่อส่งจ่ายอากาศอัดตามแนวนอนควรจะวางให้มีมุมเอียงลาด 1-2% ของความยาวท่อส่งจ่ายอากาศอัด และที่จุดปลายต่ำสุดหรือบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับ จะต้องติดวาล์วหรับกับดักน้ำสำหรับระบายน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวในท่อทิ้ง

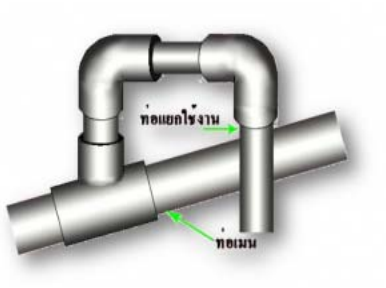
ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ข้องอได้ก็ไม่ควรใช้งอแบบมุมหักฉาก 90° แต่ควรจะใช้ข้องอโค้ง 90°แทน และในการเดินท่อเมื่อมีสิ่งกีดขวาง เช่น คาน เป็นต้น ควรทำการเดินท่อตามรูปที่ 17 และสำหรับส่วนที่ต่ำที่สุดจะต้องติดตั้งชุดระบายน้ำอัตโนมัติ เพื่อป้องกันไม่ให้มีน้ำมาขังอยู่ภายในบริเวณดังกล่าว

รูปที่ 2.17 แสดงกับดักน้ำ [17]

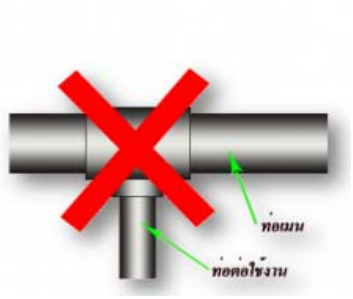
สำหรับการแยกท่อส่งจ่ายอากาศอัดออกไปใช้งานจากท่อเมน จะต้องต่อท่อขึ้นทางด้านบนทำมุมประมาณ 30° กับท่อเมนแล้วงอโค้งลงมาดังรูป 18 แต่ถ้าไม่สามารถหาวัสดุหรือท่อโค้ง 30° ได้ควรใช้ท่อสั้นๆต่อจากด้านบนของท่อเมนแล้วจึงใช้ข้องอต่อลงมาดังรูป 19 ไม่ควรต่อท่อตามรูปที่ 20 เพราะถ้าคุณภาพของอากาศอัดไม่ดีพอจะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำที่ปนไปกับอากาศอัดไหลลงไปทำความเสียหายแก่อุปกรณ์



รูปที่ 2.18 การต่อท่อแยกออกจากที่เมนทำมุม 30° [17]



รูปที่ 2.19 การต่อท่อแยกออกจากท่อเมนทำมุม 90° [17]



รูปที่ 2.20 แสดงรูปการต่อท่อแยกออกจากท่อเมนที่ผิดวิธี [17]

2.2.4 การลดการรั่วไหลของอากาศอัด

หากทดสอบการรั่วไหลแล้วอัตราการรั่วเกินกว่า 5% โรงงานควรดำเนินการแก้ไขโดยด่วน ประโยชน์ของการลดการรั่วไหลของอากาศอัดได้แก่ 1) ลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ 2) ลดปัญหาความดันอากาศตก 3) ลดการใช้งานของเครื่องอัดอากาศ 4) ลดต้นทุนการใช้พลังงานในส่วนของระบบอัดอากาศ ตำแหน่งการรั่วไหลที่พบบ่อยๆ เช่น วาล์ว, หน้าแปลน , ข้อต่อต่างๆ, จุดต่อเข้าเครื่องจักร, หัวต่อสาย, และตำแหน่งที่รั่วมักรั่วซ้ำๆ จุดเดิมอาจรั่วเนื่องจากการยึดท่อที่ไม่แข็งแรง หรือบริเวณใช้งานมีการเคลื่อนไหว หรือการต่อสายท่ออ่อนไม่ถูกต้อง เป็นต้น การรั่วมีอยู่ 2 ลักษณะ คือการรั่วตรง และการรั่วซึม วิธีการตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดทั้งระบบ การทดสอบหาปริมาณอากาศอัดที่รั่วไหลสามารถทำได้โดยไม่ต้องมีการลงทุนเพิ่มเติม แต่ต้องปิดโหลดทุกชนิดของระบบอัดอากาศที่ทำการทดสอบ วิธีดังกล่าวมีอยู่ 2 กรณี

วิธีที่ 1 การทดสอบเครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ on/off load ส่วนใหญ่เป็นเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจำพวกปั๊มลูกสูบ หรือเครื่องอัดอากาศที่มีลักษณะการทำงานในลักษณะนี้ ก็สามารถใช้วิธีคำนวณแบบเดียวกัน

สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการรั่วไหล

$$Q_{leak} = Q \times \frac{T_{av}}{T_{av} + t_{av}} \qquad (2.12)$$

เมื่อ

Q_{leak} = อัตราการรั่วไหลของระบบ (l/sec)

Q = อัตราการผลิตอากาศอัดที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ (l/sec)

T_{av} = เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงาน (sec)

t_{av} = เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน (sec)

วิธีที่ 2 การทดสอบเครื่องอัดอากาศแบบ load / unload และแบบ modulate เป็นการทดสอบเครื่องอัดอากาศซึ่งโดยส่วนมากเป็นเครื่องอัดอากาศแบบสกรู

สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการรั่วไหล

$$Q_{leak} = \frac{V \times (P_1 - P_2)}{T_{av}} \qquad (2.13)$$

เมื่อ

Q_{leak} = อัตราการรั่วไหลของระบบ (l/s)

V = ปริมาตรทั้งหมดของถังพัก, ท่อลม (liter)

P_1 = ความดันสุดท้ายหรือความดันตัดโหลด (bar)

P_2 = ความดันเริ่มเริ่มโหลด (bar)

T_{av} = เวลาเฉลี่ยจาก P_1 และ P_2

วิธีการทดสอบ

1.คำนวณปริมาตรของถังเก็บอากาศ, ท่อส่ง

2.ปิดอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดในระบบทุกตัว

3.เดินเครื่องอัดอากาศเพื่ออัดอากาศเข้าถังจนถึงระดับความดันที่ตั้งไว้ (P_1) แล้วทำการปิดวาล์วด้านอากาศเข้าถัง พร้อมทั้งจับเวลา รอจนกระทั่งความดันลดถึง P_2 ทำการบันทึกเวลาดำเนินการเช่นนี้ประมาณ 3-5 ครั้ง แล้วทำการวิเคราะห์

4.นำค่าเวลาที่วิเคราะห์ได้จากตารางไปแทนค่าในสมการ เพื่อคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศ

2.3 การปรับปรุงระบบอัดอากาศในส่วนการใช้อากาศอัด

2.3.1การใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงในระบบอัดอากาศ

การเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบอัดอากาศประสิทธิภาพสูง เป็นการใช้อุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาให้มีความสามารถในการทำงานได้เหมือนเดิมแต่มีการลดการใช้อากาศอัดให้ลดลง ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานของเครื่องอัดอากาศได้อย่างมาก อุปกรณ์ที่พบบ่อยในโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่

2.3.1.1 ปืนลมประสิทธิภาพสูง คือการออกแบบให้มีความสูญเสียแรงดันต่ำและใช้ปริมาณอากาศอัดไม่มาก นอกจากนี้ยังสามารถถอดเปลี่ยนหัวได้หลายขนาด เพื่อปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพหน้างานและช่วยลดการใช้ปริมาณอากาศอัด

2.3.1.2 หัว nozzle ประสิทธิภาพสูง ปัจจุบันมีการผลิต nozzle ออกมาหลากหลายชนิดตามลักษณะงาน เช่น งานเป่าโบ, เป่าเป็นเกลียว หรือเป่าพ่น ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศลงได้เป็นอย่างมาก

ลักษณะงานที่มีความจำเป็นต้องใช้อากาศอัดเป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด หากทำการติดตั้งหัว nozzle ประสิทธิภาพสูงเข้าไปแทนการใช้ท่อยางอ่อนและลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลงก็จะทำให้ลดการใช้ลมลงได้มาก

2.3.1.3 การเลือกใช้ Booster เพื่อเพิ่มความดันในระบบที่ต้องการความดันอากาศอัดที่สูงกว่าเครื่องจักรอื่นๆ เราสามารถเลือกใช้บู๊ตเตอร์แทนซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงานกว่าการผลิตอากาศอัดความดันจากปั๊มลม

2.3.2 การลดพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมของการใช้อากาศอัด

ปัจจุบันมีโรงงานจำนวนมากที่มีพฤติกรรมการใช้อากาศอัดที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก การลดการใช้พฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมนอกจากจะได้ปริมาณงานเหมือนเดิมแล้วยังจะช่วยให้เป็นการประหยัดพลังงานได้อย่างมากอีกด้วย หลักการมีอยู่ว่าการใช้อากาศอัดให้ใช้แต่เท่าที่จำเป็นเท่านั้นถ้าการทำงานใดสามารถอุปกรณ์อื่นแทนอากาศอัดได้ก็ควรใช้อุปกรณ์นั้น แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องใช้อากาศอัดก็ให้ใช้ในความดันและอัตราการไหลที่เหมาะสมกับลักษณะของงานนั้นๆ พฤติกรรมการใช้อากาศอัดที่ไม่เหมาะสมคือ

2.3.2.1 การนำเอาอากาศอัดไปใช้ในการเป่าทำความสะอาดพื้นหรือเครื่องจักร เป็นการไม่เหมาะสมควรใช้วิธีการอื่น เช่น เช็ดหรือกวาด เป็นต้น ในกรณีนี้ถ้าไม่สามารถหาวิธีอื่นในการทำความสะอาดพื้นหรือเครื่องจักรได้ ต้องใช้ลมในการทำความสะอาดน้อยที่สุด คือรูลมที่ใช้เป่าควรทำการติด nozzle และปืนเป่าลม ไม่ควรทำการเปิดจากท่อลมโดยตรงเพราะการเปิดจากท่อลมโดยตรงรูของท่อมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้เป็นการสิ้นเปลืองอากาศอัด

2.3.2.2 การนำอากาศอัดไปใช้เป่าระบายความร้อน หรือเป่าฝุ่นตัวเอง พฤติกรรมในลักษณะนี้เกิดขึ้นจริงในโรงงานจำนวนมากคือ ในช่วงที่อากาศร้อนพนักงานมักทำการต่อสายลมเป่าระบายความร้อนให้กับตัวเอง ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้เป็นการสิ้นเปลืองลมเป็นอย่างมาก ทางโรงงานควรขอความร่วมมือจากพนักงานให้งดการใช้โดยเด็ดขาด และทำการติดตั้งพัดลมเป่าระบายความร้อนให้แก่พนักงานแทน

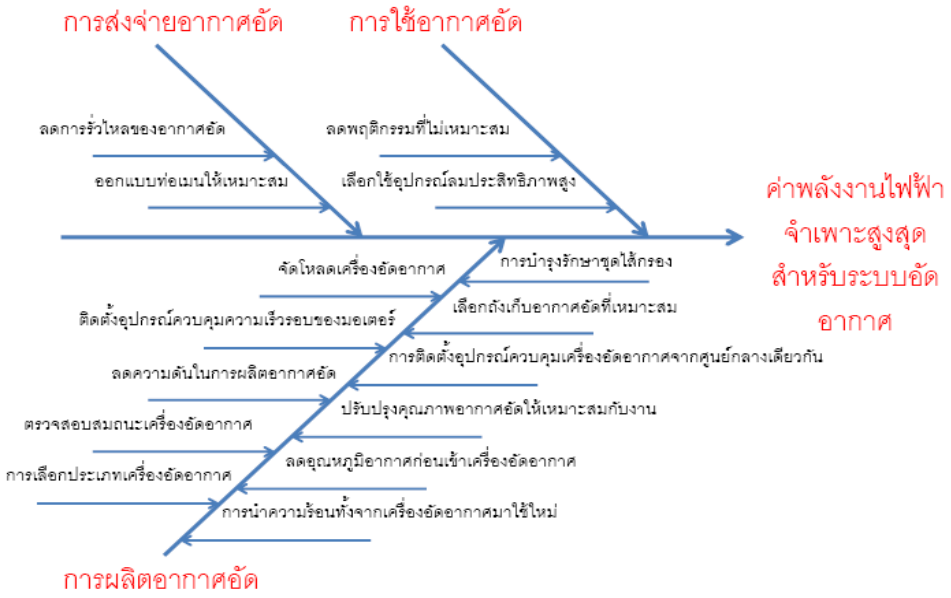
2.3.2.3 การนำเอาอากาศอัดไปใช้เป่าระบายความร้อนเครื่องจักร ซึ่งวิธีนี้มักพบเป็น 2 ลักษณะคือ 1.ก่อนหน้านี้ใช้โบล์เวอร์เป่า ภายหลังขยายพื้นที่ในการเป่าทำให้ลมไม่พอจึงดัดแปลงมาใช้อากาศอัดแทน หากเป็นเช่นนี้เพิ่มโบล์เวอร์จะดีกว่า 2.เครื่องจักรมีความร้อนเกิดขึ้นสูงกว่าปกติ ในกรณีเช่นนี้แทนที่โรงงานจะหาสาเหตุที่ทำให้เครื่องจักรร้อนผิดปกติกับทำการใช้อากาศอัดเป่าตลอดเวลาเพื่อให้การระบายความร้อนมีมากขึ้น

2.3.2.4 การใช้ท่อยางเป่าโดยตรงโดยไม่ใช้ปืนลม การใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดชิ้นงานในตำแหน่งที่ทำความสะอาดได้ยาก ควรจะพิจารณาในการใช้ปืนลมแทน โดยปกติการใช้อากาศอัดในการเป่าทำความสะอาดจะต้องทำการควบคุมความดันไม่เกิน 3 bar และขนาดของรูปืนลมไม่เกิน 2 mm

2.3.2.5 การลืมปิดวาล์ว, ปิดวาล์วไม่สนิทของพนักงาน หรือหักท่อสายยางแทนการปิดวาล์ว หัวหน้าจะต้องแนะนำหรือคอยย้ำเตือนพนักงานบ่อยๆเพื่อให้เกิดจิตสำนึกที่ดีในการประหยัดพลังงาน

2.3.2.6 ประการอื่นๆที่นอกเหนือจากที่ได้กล่าวมา แต่เป็นการสูญเสียอากาศอัดจากการใช้ที่ไม่เหมาะสม ให้ทางโรงงานพิจารณาเองตามความเหมาะสม

จากการรวบรวมวิธีประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปกราฟก้างปลาได้ดังนี้



รูปที่ 2.21 แสดงกราฟก้างปลาแสดงแนวทางประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศ

2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ming Yang [18] ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบอากาศอัดของโรงงานผลิตรองเท้าแห่งหนึ่งในประเทศเวียดนาม ซึ่งได้ทำการตรวจสอบเครื่องอัดอากาศรุ่นใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีและเครื่องเก่าที่มีประสิทธิภาพไม่ดีพบว่า ประสิทธิภาพการใช้อากาศอัดอยู่ที่ 5-10% หรือหมายถึงมีการสูญเสียพลังงานในระบบอัดอากาศมากกว่า 80% จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบอัดอากาศทั้งระบบพบปัญหาที่สังเกตได้อย่างชัดเจน 2 ประการคือ เครื่องอัดอากาศไม่ได้ถูกใช้งานอย่างเหมาะสม เครื่องอัดอากาศหลายตัวถูกใช้ไปในงานที่ไม่ใช่ความต้องการที่แท้จริง และมีลมรั่วมากกว่า 65% ของอากาศอัดที่ผลิตได้ทั้งหมด มาตรการปรับปรุงใช้เงินลงทุน 84,000 USD ในปีแรกและ 41,400 USD ในปีถัดไปเพื่อจัดการระบบอัดอากาศ 8 เครื่องและซ่อมแซมอุปกรณ์ที่มีการรั่วซึม การลงทุนนี้ช่วยประหยัด 195,700 USD ต่อปี จุดคุ้มทุนเฉลี่ยไม่ถึง 6 เดือน

Huibin Liang และ Xuehua Li [19] ศึกษาการออกแบบระบบแบบผสมผสานโดยใช้เครื่องอัดอากาศแบบสกรูทำงานร่วมกับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบโดยใช้ PLC ควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศทั้งหมดเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณอากาศอัดที่ต้องการและสามารถรองรับความต้องการอากาศอัดแบบผันแปรได้ ระบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงระบบควบคุมของเครื่องอัดอากาศในเหมืองในจังหวัด Shandong ซึ่งช่วยให้ลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมาก

Saidur, Rahim และ Hasanuzzaman [20] ศึกษาการใช้ประโยชน์ของระบบอัดอากาศและการอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ อัดอากาศถือเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานประมาณ 10% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอุตสาหกรรม การตรวจสอบการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ในหัวข้อนี้ผู้ทำงานวิจัยได้รวบรวมมาตรการปรับปรุงระบบอัดอากาศ วิธีการตรวจสอบและวิธีการคำนวณจุดคืนทุนในการใช้มาตรการปรับปรุงระบบอัดอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน เช่น การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง การใช้ชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์แก้รอยรั่วต่างๆ ดูดอากาศจากทางด้านนอก ลดความดันตกคร่อมในท่อส่งอากาศอัด การนำความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้ ใช้หัวฉีดอากาศอัดที่มีประสิทธิภาพ และใช้เครื่องอัดอากาศที่สามารถผลิตอากาศแบบแปรผันได้ เป็นต้น